

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONCRETO SIMPLE Y EL CONCRETO
CON ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO AL 12% Y 14%

PLINIO ANDRES VALENCIA CASTRO
CRISTIAN DARIO QUINTANA CRUZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2016

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONCRETO SIMPLE Y EL CONCRETO
CON ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO AL 12% Y 14%

PLINIO ANDRES VALENCIA CASTRO
CRISTIAN DARIO QUINTANA CRUZ

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil

Directora
MARISOL NEMOCÓN RUIZ
Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2016



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5 CO)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#).

[Advertencia](#)

Usted es libre para:



Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y crear a partir del material

El licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe darle crédito a esta obra de manera adecuada, proporcionando un enlace a la licencia, e indicando si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con fines comerciales.



CompartirIgual — Si usted mezcla, transforma o crea nuevo material a partir de esta obra, usted podrá distribuir su contribución siempre que utilice la misma licencia que la obra original.

No hay restricciones adicionales — Usted no puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Aviso:

Usted no tiene que cumplir con la licencia para los materiales en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se entregan garantías. La licencia podría no entregarle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como relativos a publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Directora de Investigación
Ing. Marisol Nemocón Ruiz

Bogotá D.C, 13, mayo, 2016

Se les agradece a todos los profesores de la Universidad Católica de Colombia. Que contribuyeron en nuestra formación profesional, principalmente a la ingeniera Marisol Nemocón Ruiz quien nos asesoró, nos guio y nos brindó un apoyo incondicional para poder desarrollar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente se le agradece a Dios por todo lo que me brindó y me permitió durante esta etapa de pregrado. Seguidamente quiero agradecer a mi familia que siempre estuvo el tanto y me guio en momentos difíciles, ya que son mi motor para ir culminando etapa por etapa, a ellos le quiero dedicar este trabajo. También quiero agradecer a mis amigos los cuales fueron de gran ayuda para salir adelante en esta etapa universitaria.

Plinio Andrés Valencia Castro.

Quiero agradecer principalmente a Dios por brindarme salud, voluntad y la oportunidad de culminar esta etapa. A mis padres Edilma cruz y Oswaldo Vargas, por estar siempre a mi lado guiándome con sus enseñanzas y demostrándome su apoyo incondicional, han sabido levantarme y sostenerme sin el camino importar. Poniéndome antes que sus compromisos personales, gracias por mostrarme que todo con esfuerzo se puede lograr. A mi abuelita Yolanda Gómez por ser una mujer excepcional que ayudo en mi crianza, por enseñarme el compromiso absoluto, por ser la mujer que me enseñó a sonreír.

Cristian Darío Quintana Cruz

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	10
3.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
4.	OBJETIVOS	14
4.1.	Objetivo General	14
4.2.	Objetivos Específicos	14
5.	MARCO CONCEPTUAL	15
5.1.	Agregado Grueso y fino	15
5.2.	Agua	15
5.3.	Cemento.....	15
5.4.	Concreto.....	15
5.5.	Fibra de acero:	16
5.6.	Tipos de fibras.....	16
5.7.	Concreto reforzado con fibras de acero	17
6.	MARCO DE REFERENCIAL.....	19
7.	METODOLOGÍA	20
7.1.	Etapas de la investigación.....	20
7.1.1.	Selección de los materiales.....	20
7.1.2.	Caracterización de los agregados	21
8.	DISEÑO DE MEZCLA.....	23
8.1.	Procedimiento de diseño	23
8.1.1.	Selección del asentamiento.....	23
8.1.2.	Selección del tamaño máximo del agregado.....	24
8.1.3.	Estimación del contenido de aire.....	25
8.1.4.	Estimación del contenido de agua de mezclado	26
8.1.5.	Determinación de la resistencia de diseño	27
8.1.6.	Selección de la relación agua – cemento	28

8.1.7. Cálculo del contenido de cemento	29
8.1.8. Estimación de las proporciones de los agregados	29
8.2. Datos generales del diseño de mezcla.....	30
9. ENSAYOS REALIZADOS A LOS CILINDROS DE CONCRETO CON ADICIÓN Y SIN ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO.	32
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
10.1. Asentamiento.	35
10.2. Tipo de falla.....	44
11. CONCLUSIONES	50
12. BIBLIOGRAFÍA	51

1. INTRODUCCIÓN

En un tiempo, donde la necesidad de materiales innovadores para la construcción aumenta, se encuentra la fibra de acero, como una opción para el refuerzo parcial o total del concreto.

Uno de los materiales fundamentales para que las estructuras tuvieran mayor resistencia eran las fibras, por ello las civilizaciones antiguas adicionaban pasto, fique, junco o pelo animal con el adobe o barro; materiales que minimizaban su tendencia a la fisura y mejoraban el desempeño del material frente a la compresión.

Según estudios técnicos realizados Lozano (2013), llevados a cabo durante los últimos cincuenta años, la industria ha desarrollado fibras de polipropileno, vidrio, nylon y acero, que cumplen la misma función de las fibras utilizadas siglos atrás, con la diferencia de que son creadas con especificaciones técnicas y en materiales más resistentes, para responder a estas necesidades.

Las fibras se han utilizado principalmente en pavimentos y losas, donde la relación área/volumen es alta y se requiere un mecanismo de control de grietas superficiales, una de las ventajas que ofrece es que no se requieren traslapes como en el refuerzo tradicional y el transporte a obra es más económico, ahorra tiempo al no tener que instalarlo previamente siendo una solución rentable en refuerzo.

En este trabajo se determinará experimentalmente el comportamiento del concreto convencional, con el concreto modificado con fibra de acero a unos porcentajes previamente sugeridos, buscando alcanzar la resistencia de diseño. Se elaborarán los ensayos de laboratorios pertinentes y establecidos por norma INV E- 402 -07.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Existen diversas investigaciones sobre la mejora de las propiedades mecánicas del concreto mediante la adición o reemplazo de un material con mejores características físicas y mecánicas. Existen algunas investigaciones sobre la adición de fibras de acero, virutas de acero, desechos de alto horno, puzolana y otros materiales los cuales incrementaron la resistencia del concreto.

Algunas de las investigaciones referentes a la adición de fibra de acero (*ver tabla 1*)

Tabla 1. *Investigaciones realizadas con fibra de acero*

TÍTULO	AUTORES	AÑO	RESUMEN
Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero	Rafael Robayo, Pedro Matthey, Simio Delvasto	2013	En este trabajo, se realiza un estudio experimental sobre la influencia que tiene la incorporación de volúmenes bajos de fibras de acero (Vf: 0,3%, 0,5%, y 0,7%) en las propiedades mecánicas de un concreto fluido adicionado con un 20% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como reemplazo parcial del cemento.
Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la	Luis Octavio González Salcedo, Aydée Patricia Guerrero	2012	El trabajo se basó en la elaboración de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión en concretos reforzados con fibras de
Hormigones con fibra de acero características mecánicas	Patricia Cristina Mámol Salazar	2010	Este trabajo presenta una introducción al conocimiento de 3 tipos de homigones (acero, vidrio y polipropileno) tratando exclusivamente las características mecánicas del homigón con fibras de acero.
Análisis comparativo entre el concreto hidráulico simple y el reforzado con fibras de acero	José Castañeda Ávila, Cecilia Olague, Facundo Almeraya, Citlali Gaona y Alberto Martínez	2000	En este estudio se comparan las propiedades mecánicas (módulo de ruptura, resistencia a la flexión, tenacidad, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad) y de durabilidad (resistencia a la corrosión) del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA).

Hormigones reforzados con fibras de acero	Manuel Fernández Cánovas	1981	Este artículo da pautas para la solución de las desventajas del hormigón, mediante tecnologías nuevas, que permiten lograr hormigones más isótropos y reduciendo las debilidades. Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentra en un lugar muy destacado el empleo de fibras de acero para reforzar.
---	--------------------------	------	---

Fuente: *Los autores.*

Teniendo en cuenta los antecedentes que se relacionan en la Tabla 1, y las conclusiones, se determinó un porcentaje de incorporación de fibras de acero como reemplazo parcial del cemento.

La fibra de acero se aplica en diversas obras. Entonces se decidió analizar el comportamiento de la fibra para hacer una indagación sobre la respuesta a la tracción del concreto adicionado con fibras.

La “fibra de acero” proporciona resistencia a la compresión, a la tensión y mejora la ductilidad del concreto, Carrillo *et al*, (2015). Sacando beneficio de la información ya mencionada sobre la fibra, se busca mejorar las técnicas y el conocimiento sobre la tecnología del concreto con adición o sustituido con diversos porcentajes de fibras de acero.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El concreto ha sido uno de los principales materiales aprovechados en la construcción, basta recorrer y observar las distintas obras que se encuentra en las calles de nuestro país y otros países que manejan este material, construcciones tales como una casa, un edificio, un hospital, un centro comercial, vías, etc.

Debido a que en numerosas obras se necesita el concreto, tanto simple como reforzado, se ha propuesto la elaboración del concreto, aplicando fibras de acero como adición, para así lograr un concreto reforzado, con el fin de mejorar y optimizar su resistencia y vida útil.

Al concreto además de poderle adicionar fibra de acero, se le puede agregar numerosos elementos (madera, acero, fibras de vidrio, etc.) con el fin de ir mejorando la resistencia de la mezcla. El problema radica que no hay una dosis exacta del componente que de la resistencia esperada o solicitada para el concreto reforzado.

Al analizar y experimentar, con este material, poco a poco se ha ido acertando con la dosificación que se debe aplicar a la mezcla de concreto, para obtener la resistencia que se requiere en las construcciones, y con ello asegurar una sobresaliente vida útil a las obras y a su vez disminuyendo el riesgo para la vida humana.

¿La fibra de acero incorporada al concreto incrementa la capacidad de carga a la compresión del concreto? ¿Un porcentaje adecuado es del 12 o 14%?

El concreto es frágil, y en una estructura se requiere un porcentaje de ductilidad.

- El concreto tiene bajas resistencias a la compresión y especialmente a la tracción (10% a 15% de la resistencia a la compresión), en comparación con el acero. (NSR, 2010).
- Excesivo peso y volumen.

La fibra de acero le brinda:

- Mejor resistencia a la compresión y la tracción.
- Mejor ductilidad.
- Economía y mejor aprovechamiento del material, casi en todos los casos.

De acuerdo a lo planteado, esta investigación se centra en analizar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero adicionándole porcentajes de 12 y del 14 % y a su vez conocer los beneficios otorgados por la fibra de acero.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento del concreto simple y el concreto reforzado con adición de fibras de acero al 12 % y 14%, con el fin de conocer si existe una mejora en la capacidad de carga a la compresión.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño de mezcla para una resistencia de 3000 psi, con concreto sin adición y concreto con adición de fibra de acero al 12 y 14%.
- Determinar en laboratorio la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto a 14, 21 y 28 días.
- Analizar estadísticamente las muestras, determinando cual es la que arroja mayor resistencia, cuál es el tipo de falla y cuál es la que presenta menor resistencia.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. Agregado Grueso y fino

Se conoce como agregados a todo tipo de material que cuente con una resistencia propia y suficiente, la cual no afecte ni perturbe las propiedades y características del concreto y se garantice una cohesión, lo suficiente para generar una pasta endurecida por el cemento. En general (Guzmán, 2001), la gran mayoría de materiales se adaptan muy bien con el cemento lo cual hace que no haya ningún tipo de afectación a la hora de hacer la mezcla de concreto; sin embargo hay algunos elementos, por lo general materiales que contienen un porcentaje de sílice, que presentan resistencia a las características mecánicas del concreto debido a que su fracción fina presenta actividades en virtud de sus propiedades hidráulicas. También se encuentran materiales nocivos o que presentan inconvenientes con la estructura del concreto y su durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados.

5.2. Agua

La utilización del agua se hace poniendo especial atención a los agentes que puedan afectar a las fibras. Se debe tener (Roman, 2015), en cuenta que el aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de la misma.

5.3. Cemento

El cemento tiene propiedades adhesivas como cohesivas las cuales le dan hacen que los agregados o áridos se puedan conformar y ser una mezcla única. La unión de las propiedades y los agregados generan concreto. Según (Guzmán, 2001), estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad del fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar.

5.4. Concreto

En términos generales el concreto u hormigón se puede definir como la mezcla de diferentes ingredientes como el agua, aditivos, grava y arena que al endurecer

forma un todo compacto (piedra artificial, a la que se le llama concreto), y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión y algunos de tensión.

Al concreto se le puede agregar un aditivo el cual tiene diferentes funciones tales como reducir el agua, acelerar la resistencia e incrementar su trabajabilidad.

5.5. Fibra de acero:

Según Salcedo (2012), las fibras de acero, son elementos que se adicionan al hormigón para contribuir con varias propiedades específicas y características esenciales para una mezcla de hormigón óptima.

Algunas de las propiedades y características:

- Una resistencia a tracción significativamente mayor que la del hormigón.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del hormigón.

Las fibras se clasifican en estructurales y no estructurales, en función de la capacidad de aumentar la resistencia del hormigón. Las fibras serán estructurales si la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón. Las fibras serán no estructurales en caso contrario.

Las fibras suponen una mejora ante determinadas propiedades como el control de la fisuración por retracción, y el incremento en la resistencia al fuego, abrasión impacto, entre otras.

5.6. Tipos de fibras

Las fibras utilizadas para el concreto u hormigón son de pequeña sección una longitud corta, las cuales se pueden clasificar en tres tipos dependiendo de su naturaleza:

- Fibra de acero (en sus variantes en contenido de carbono inoxidable)
- Fibras poliméricas
- Fibras inorgánicas

En la tabla se da a conocer algunas de las características con las que cuentan las fibras que son utilizadas para la elaboración del concreto u hormigón con adición o reforzado. (Salcedo, 2012).

Tabla 2. Características de las fibras

Tipo de fibras	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (kg/m ³)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500 - 3000	210	7800	3,5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3,6
Carbón	3000	200 - 500	1900	0,5
Nylon	900	4	1100	13,0 – 15,0
Polipropileno	400 - 800	5 - 25	900	8,0 – 20,0
Poliéster	700 - 900	8,2	1400	11,0 - 13,0
Hormigón	5 – 8	30	2300	-

Fuente. Adaptado de (Salcedo, 2012).

Las fibras de acero, en todas sus variantes son las más utilizadas para conseguir hormigones con mejor resistencia a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc.

5.7. Concreto reforzado con fibras de acero

Se sabe que el concreto simple da buena resistencia a la tensión el cual puede mejorar con fibras de acero, ya que las fibras cuentan con un buen control fisuración y mejora la compresión del concreto.

Según Gallo, *et al*, (2013), en Colombia es muy limitado o de poco uso el concreto reforzado con fibras de acero en las construcciones, esto es debido a que hay una ausencia de recomendaciones para estimar el comportamiento de la fibra. Aunque el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) permite el uso de fibras de acero en el concreto para resistir cortante en vigas, NSR-10

excluye su uso en otros elementos tales como muros de concreto. Adicionalmente, en NSR-10 no se indican ecuaciones para estimar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero.

6. MARCO DE REFERENCIAL

Partiendo del conocimiento del estudio realizado por Robayo, *et al* (2013), donde utilizan fibra de acero con bajos porcentaje (0,3%, 0,5%, y 0,7%) y unos porcentaje del 20 % para la ceniza de cascarilla con arroz (CCA) reemplazando parcialmente el cemento. Este estudio nos indica que CCA permite una reducción del consumo del cemento hasta un 20 % para similar desarrollo de resistencia a edades de curado. También nos resalta una mejora en la resistencia a la tracción, a la tenacidad de flexión y en el módulo de elasticidad gracias a los porcentajes de fibra utilizados en la mezcla.

En la investigación de Castañeda, *et al* (2000), se elaboraron cinco mezclas de concreto, variando solamente el contenido de fibra y la cantidad de aditivo reductor de agua manteniendo la relación agua/cemento constante. A una mezcla (mezcla A) no se le incluyeron fibras, en tanto que a las otras cuatro (mezclas B, C, D, E) se les varió el contenido de fibras de 15 a 60 kg/m³ de concreto (aproximadamente de 0.2 a 0.8% de fibra de acero en volumen).

Con la utilización de estos parámetros mencionados anteriormente el esfuerzo de compresión para el concreto con fibra de acero se incrementó hasta un 24% (Castañeda *et al*, 2000), y su elasticidad aumento de 2 a 3 veces más que el concreto simple.

Los estudios mencionados (Robayo *et al*, 2013; Castañeda *et al*, 2000), encontraron que con bajos porcentajes de fibras el comportamiento de la mezcla a la resistencia a compresión, tracción y su elasticidad mejoraba considerablemente. En el presente trabajo se ha estimado trabaja con 12 y 14 % con el fin de analizar el comportamiento del concreto reforzado con fibra de acero e indagar si se presenta un mejoramiento de la resistencia del concreto a compresión. Para así ir contribuyendo con la búsqueda de la cantidad exacta que se necesita para una buena composición de concreto reforzado con fibra de acero.

7. METODOLOGÍA

El trabajo fue puesto en marcha pensando en la buena calidad y la construcción económica de concreto reforzado con fibras de acero esto requiere de la aprobación de la mezcla, colocación, acabado, curado y seguir estrictos procedimientos de control de calidad. El mezclado puede ser aceptable mediante diferentes métodos, pero depende de las condiciones del trabajo y de los medios disponibles ya que es importante mantener una dispersión uniforme de las fibras para prevenir la segregación y la acumulación de fibras durante el mezclado (Guzmán, 2001), el agregado fino usado fue arena natural, en tanto el agregado grueso fue piedra triturada con un tamaño máximo de 19 mm, no es necesario contar con equipo sofisticado para transportar manejar el concreto reforzado con fibras de acero en estado fresco.

7.1. Etapas de la investigación

De acuerdo con las diferentes temáticas propuestas por la directora de grado, se asumió comparar el concreto convencional, con concreto modificado con la fibra de acero, indagando la resistencia a la compresión. Para lo anterior se seleccionaron unos porcentajes los cuales van a dar indicios de qué cantidad es la más óptima para una mayor resistencia, estos basados en la literatura encontrada.

A continuación se presenta un resumen de las etapas más importantes en el trabajo.

7.1.1. Selección de los materiales

Como agregados para el concreto se consideran todos aquellos materiales que tienen una resistencia propia, que garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida. Los agregados pétreos convencionales fueron adquiridos a un proveedor calificado, que garantizó las propiedades óptimas de los agregados a usar, tales como el peso específico, la humedad natural, la masa unitaria suelta, forma y absorción.

Las pruebas para los agregados no se realizaron por limitaciones de tiempo y espacio.

7.1.2. Caracterización de los agregados

El material de refuerzo fue comprado al proveedor, pues la presentación viene en bolsas de 25 kg, los fabricantes son Beakert. Los materiales convencionales se adquirieron a una cantera que proporcionó todos los datos específicos ya que esto no es el objeto de estudio en esta investigación.

Ficha técnica Fibra de acero Dramix 3D

TIPO DE FIBRA	DRAMIX 3D
Longitud (L)	35 mm
Diámetro (D)	0,55 mm
Relación de Esbeltez (L/D)	63,63
Resistencia a la Tracción	1.345 N/mm ²
Módulo de Young	210.000 N/mm ²
Red de Fibra	14.531 Fibras/kg
Presentación de las fibras	Encolada

Tabla 3. Ficha técnica de la fibra suministrada por Beakert

Figura 1. Fibra Dramix.



Fuente. Adaptada de (Bekaert, 2013).

Durante la elaboración del ensayo se utilizaron:

Material

- Cemento portland tipo I
- Arena
- Agua
- Piedra

Equipo

- Recipientes de agua
- Probeta de 1000ml (para la medición del agua)
- Molde de probetas (10 x 20) con dos ajustes, uno inferior y otro superior
- Balanza electrónica
- Varilla de acero
- Prensa hidráulica
- Pie de rey
- Metro

(Véase *tabla 4*) se ilustra las cantidades por cada material y acorde al diseño de mezcla.

Tabla 4. Resumen de dosificación

INGREDIENTE	CANTIDAD
Agua	9,3 litros
Grava	46 kg
Cemento	19 kg
Arena	33 kg

Fuente. Los autores.

8. DISEÑO DE MEZCLA

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que conforman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados, existen diferentes métodos de diseños de mezcla, algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Para el desarrollo de esta investigación se adaptó el procedimiento ilustrado en el libro de Diego Sánchez de Guzmán mostrado a continuación.

8.1. Procedimiento de diseño

8.1.1. Selección del asentamiento

Las propiedades del concreto en estado fresco son importantes ya que de ello depende gran parte de su estado endurecido, para determinar una consistencia en el concreto fresco, es necesario el tamaño mínimo de la sección, cantidad y separación entre el refuerzo, es notorio que cuando el refuerzo está muy junto se utiliza un concreto más fluido.

Otro aspecto importante es el sistema de compactación a utilizar debido a que hay lugares de difícil acceso entonces el concreto debe estar diseñado para tales fines en la tabla (véase *tabla 5*), hay diferentes parámetros que ayudan a determinar el mejor asentamiento para diseño.

Empleando el procedimiento descrito se seleccionó una consistencia media con un asentamiento entre el 5 y 10 cm, se toma así el promedio aproximadamente 7.5 cm (3") dado la colocación será manual.

Tabla 5. Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construccion y compactacion.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tiempo de construccion	Sistema de colocacion	Sistema de compactacion
Muy seca	0 - 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentacion	Con vibradores de formaleta; concretos de proyeccion neumatica	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 - 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	secciones sujetas a vibración intensa
Semi- seca	35 - 50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con maquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50 - 100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100 - 150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos pilotes fundidos "in situ"	Tubo- embudo Tremie	Seccion altamente reforzadas, sin vibracion. (Normalmente no decuados para vibrarse)

Fuente: Adaptado de (Guzmán, 2001), p. 228.

8.1.2. Selección del tamaño máximo del agregado

Los agregados bien gradados tienen menores espacios vacíos por lo consiguiente si el tamaño de los agregados aumenta, los contenidos de cemento y agua disminuyen, debe ser compatible y lo más económicamente posible dependiendo

la mínima dimensión de la estructura, existen limitaciones que pueden influir como la producción, transporte y colocación.

Respecto a la geometría y el refuerzo de la estructura (Guzmán, 2001) se debe seleccionar de acuerdo a los espacios por donde se desplazara el concreto durante su colocación de modo que no sufra obstrucciones y se distribuya uniformemente sin que queden espacios vacíos. Se deben considerar aspectos tales como lo angosto de las secciones y las distancias mínimas entre las varilla del refuerzo y entre estas y el recubrimiento.

Se hizo el diseño con una dimensión mínima de 10 cm, para muros reforzados y columnas, los datos que nos arrojó (véase tabla 6) fue un tamaño máximo entre 1/2" y 3/4".

Tabla 6. *Tamaños máximos de agregados*

<i>Tamaños maximos de agregados según el tipo de consrucción</i>				
<i>Dimensión mínima de la sección(cm)</i>	<i>Tamaño máximo en pulg.(mm)</i>			
	<i>Muros reforzados vigas y columnas</i>	<i>Muro sin refuerzo</i>	<i>Losas muy reforzadas</i>	<i>Losas sin refuerzo o poco reforzadas</i>
6 a 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19)- 1"(25)	3/4" (19) - 1 3/4" (38)
19 a 29	3/4" (19) - 1 1/2" (38)	1 1/2" (38)	1 1/2" (38)	1 1/2" (38)-3"(76)
30 a 74	1 1/2" (38)-3"(76)	3"(76)	1 1/2" (38)-3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2" (38)-3"(76)	6"(152)	1 1/2" (38)-3"(76)	3"(76)-6"(152)

Fuente: Adaptado de (Guzmán, 2001), p. 230.

8.1.3. Estimación del contenido de aire.

En el proceso de mezclado queda aire naturalmente atrapado dentro del concreto, existen diferentes niveles de exposición, naturalmente atrapado, exposición ligera, exposición moderada y exposición severa, sin embargo para efectos prácticos se sugiere que el concreto no va a tener aire intencionalmente incluido, al tratarse de una mezcla que puede aplicarse en pavimentos aceras revestimiento de canales, se seleccionó un nivel de exposición severa ya que puede estar expuesto a productos químicos, agentes agresivos o bien pueda resultar altamente saturado por el continuo contacto con la humedad.

Tabla 7. Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños de agregados.

tamaño maximo nominal del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
mm	pulg.	Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	3/8	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	1/2	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	3/4	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1 1/2	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5
152.0	6	0.2	1.0	3.0	4.0

Fuente: Adaptado del A.C.I.- 211, A.C.I.-318 (11.2, 11.4).

8.1.4. Estimación del contenido de agua de mezclado

La estimación del contenido de agua de mezclado es base fundamental para cumplir la resistencia de diseño. Cumple con la función de hidratar las partículas de cemento y producir la fluidez necesaria para dar una buena manejabilidad, esta se expresa en kilogramos o litros (debido a que la densidad del agua es 1 Ton/m^3) por metro cubico de concreto. El método más común para determinar el requerimiento de agua en un concreto o mortero (Guzmán, 2001), es un procedimiento de prueba y error, que consiste en la preparación y evaluación de mezclas de prueba con los materiales que se van a utilizar en la construcción.

El método más rápido de manejar es utilizando tablas que han sido preparadas empíricamente de las cuales existen gran variedad con la limitante que solo proporcionan cálculos aproximados.

Para el diseño busca el asentamiento previamente seleccionado 3" (véase *tabla 5*), y con el tamaño máximo del agregado (véase *tabla 6*), se conoce cuál es el valor de contenido de agua 203 kg/m^3

Tabla 8. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.

Asentamiento		Tamaño maxmo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 3/4"	12.7 1/2"	19.0 3/4"	25.4 1"	38.1 1 1/2"	50.8 2"	64.0 2 1/2"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	141	141	132
25	1	231	208	194	178	164	147	147	138
50	2	236	214	199	183	170	151	151	144
75	3	241	218	203	188	175	156	156	148
100	4	244	221	207	192	179	159	159	151
125	5	247	225	210	196	183	162	162	153
150	6	251	230	214	200	187	165	165	157
175	7	256	235	218	205	192	170	170	163
200	8	260	240	224	210	197	176	176	168

Fuente: Adaptado de (Guzmán, 2001), p. 233.

8.1.5. Determinación de la resistencia de diseño

De acuerdo con las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente (NSR -10) el concreto debe diseñarse para asegurar una resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}) suficiente mente alta para disminuir los bajos resultados de las pruebas que están por debajo de la resistencia a la compresión especificada del concreto (f'_c). Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras de prueba, a la edad de ensayo establecida (NSR, 2010), deben ser usadas para establecer la composición de la mezcla de concreto propuesta para la obra, la mezcla de concreto propuesta debe alcanzar la resistencia promedio a la compresión como lo exige C5.3.2 y cumplir con los criterios de durabilidad aplicables.

Debido a que la resistencia especificada fue de 3000 psi o 210 kg/cm² ubicamos este valor (véase *tabla 9*) y respectivamente se hace el procedimiento para ubicar la resistencia de diseño de mezcla (f'_{cr}) cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.

Tabla 9. Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar

Resistencia especificada f'_c (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f'_c + 70$ kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	$f'_c + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f'_c + 100$ kg/cm ²

Fuente: Adaptado del A.C.I.- 318.

8.1.6. Selección de la relación agua – cemento

La relación agua/cemento es utilizada para obtener las diferentes mezclas tanto para la obtención de morteros como de hormigones. Se trata de la relación que hay en el peso del agua y del cemento utilizado en una mezcla. Tiene una influencia importante en la calidad del concreto. La menor proporción de agua-cemento conduce a la mayor resistencia y durabilidad, pero puede hacer la mezcla más difícil de manejar y verter. Las dificultades de colocación se pueden resolver mediante el uso de aditivos.

La relación agua–cemento (Guzmán, 2001), no solo determina los requisitos de resistencia, sino también factores pertinentes a la durabilidad y propiedades para el acabado del concreto, debido a que este debe ser capaz de soportar aquellas exposiciones como, el calentamiento, resistencia a la abrasión y sustancia químicas agresivas entre otras.

Tabla 10. Relación agua-cemento para cementos colombianos, portland tipo 1, en concreto sin aire incluido

Resistencia a la compresión kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.70	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente: Adaptado de (Guzmán, 2001), p. 238.

8.1.7. Cálculo del contenido de cemento

Una vez que el contenido de agua cemento y la relación de agua cemento han sido determinados, el contenido de cemento por metro cubico de concreto es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado sobre la relación agua-cemento

$$C = \frac{A}{A/C}$$

Donde

C = contenido de cemento, en kg/m^3

A = Requerimiento de agua de mezclado, en Kg/m^3

A/C = Relación agua-cemento, por peso.

8.1.8. Estimación de las proporciones de los agregados

La estimación de los volúmenes de los agregados dependen del módulo de finura de la arena y del tamaño máximo nominal del agregado, según (Guzmán, 2001) los volúmenes están basados en agregados secos y compactos con varilla, como se describe en la norma técnica colombiana 174, estos volúmenes se han seleccionado de fórmulas empíricas para producir un concreto con un grado de manejabilidad apropiada.

El método más eficaz es el método de volumen absoluto, es igual al peso de cemento, agua, contenido de aire y agregado grueso dividido de por su peso específico, como se indica en la siguiente expresión.

$$V_i = P_i / G_i$$

V_i = Volumen absoluto del ingrediente, en l/m^3

P_i = Peso seco del ingrediente, en kg/m^3

G_i = Peso específico del ingrediente (para los agregados debe usarse el peso específico aparente seco)

Tabla 11. Volumen agregado grueso por volumen unitario de concreto.

volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
tamaño nominal del agregado		Modulo de finura de la arena			
mm	pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.51	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4	0.56	0.64	0.62	0.60
25.4	1	0.51	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado de (Guzmán, 2001), p. 241.

En esta tabla para un módulo de finura de 2.78 y un tamaño máximo nominal de agregado grueso 12.7mm (1/2") de agregado grueso, se encuentra el resultado de 0.55 de agregado grueso por metro cubico de concreto. Por lo tanto el peso seco del agregado será igual a 1.034 kg/m³ (Véase la tabla 12).

8.2. Datos generales del diseño de mezcla

Los factores que se toman en cuenta para diseñar una mezcla de concreto son muchos, como la resistencia, el tipo de cemento, durabilidad, relación agua cemento, proporciones de la mezcla. Según la metodología propuesta (Guzmán, 2001), se propuso una resistencia de 3000 psi para un diseño de concreto convencional y para el modificado con fibra de acero, observando así la variación entre ellos estableciendo proporciones de cada ingrediente por metro cubico.

Tabla 12. *Ingredientes por metro cubico de concreto*

Ingrediente	Peso seco <i>kg/m³</i>	Peso específico <i>g/cm³</i>	Volumen absoluto <i>l/m³</i>
Cemento	351	3.10	113
Agua	150	1,00	203
Cont. de aire	--	--	0
Agregado grueso	1.034	2,54	407,08
Agregado fino	720.2	2,6	277
TOTAL	2.307		1000

Fuente. *Los autores.*

9. ENSAYOS REALIZADOS A LOS CILINDROS DE CONCRETO CON ADICIÓN Y SIN ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO.

Para poder analizar el comportamiento del concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero con 12 % y 14 %, se realizó el ensayo a la compresión, en el cual se empleó:

Probetas:

Hay tres tipos de probetas, que manejan diferente dimensión

- Probeta cilíndrica de 15 x 30 cm
- Probeta cilíndrica de 10 x 20 cm
- Probeta cilíndrica de 25 x 50 cm

En este trabajo se utilizaron las probetas tipo 2 de 10 x 20 cm, de las cuales se elaboraron 27 cilindros, para poder analizar la resistencia a la compresión, con adición y sin adición de fibras de acero, en las cantidades señaladas en (véase *tabla No. 5*) En ella se puede apreciar el número de cilindros por mezcla y las edades a las cuales fueron fallados los cilindros.

Tabla 13. *Cantidades de cilindros por muestra*

Tipo de mezcla	Concreto sin adición			Concreto con adición del 12% de fibra de acero			Concreto con adición del 14% de fibra de acero		
Edad de falla (días)	14	21	28	14	21	28	14	21	28
Número de cilindros	3	3	3	3	3	3	3	3	3

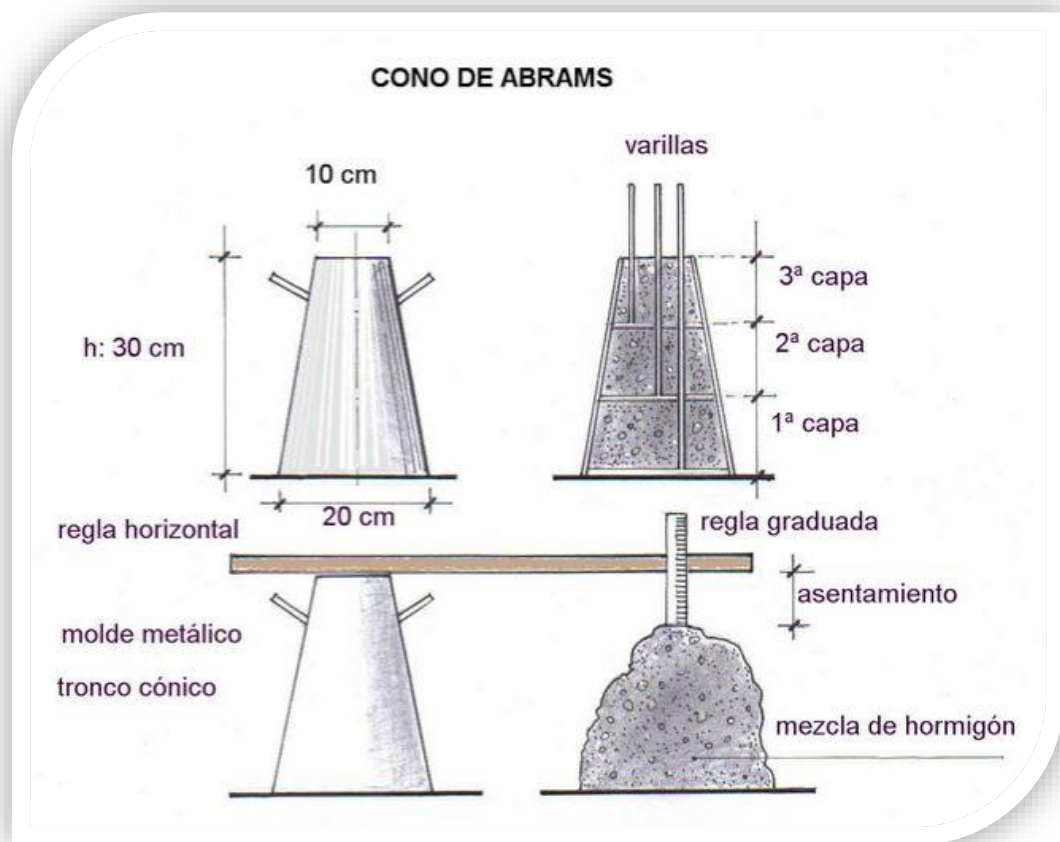
Fuente. *Los autores.*

Las mezclas de concreto fueron elaboradas en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Católica, se llevaron a un tanque de curado y se fallaron a las edades indicadas en la máquina universal.

Una vez obtenida la mezcla de concreto se realizó la prueba de Slump, la cual permite determinar la manejabilidad y consistencia que tenía la mezcla para así poder elaborar los moldes. En este ensayo se controla el asentamiento que tiene la mezcla. Su elaboración es muy sencilla y de bajo costo. Se utiliza un molde

mojado, para que no absorba la muestra, se le agregan 3 capas de material, con los pies se sostiene el molde, después de sostenerlo; se utiliza una varilla cilíndrica y de punta redonda para compactar la mezcla, por cada capa se le dan 25 golpes con la varilla. Por último se toma evidencias y se mide el asentamiento.

Figura 2. Prueba cono de abrams



Fuente. Adaptada de (Construmatica., 2014)

Después de haber realizado la mezcla de los ingredientes, de escoger el tipo de probeta cilíndrica, la prueba del slump y conocer el asentamiento de la mezcla, se procede al armado de las camisas:

- Al molde se le colocó aceite en su parte interior, para que el concreto no se adhiriera.
- Se vertió la primera capa y se aplicaron 25 golpes con el martillo de goma.

- La segunda y tercera capa se realiza el mismo proceso.
- Se enraza la mezcla, después de terminar las 3 capas.
- Al día siguiente se desencoфра.
- Se lleva al tanque de curado.
- Después de curado y de haber cumplido los días que se solicitan, se lleva a fallar.

Después de cumplir la edad definida, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión, acorde a la norma NTC 673. Durante el ensayo se registró la carga y el tipo de falla que se presentó en cada uno de los cilindros, tabla N°10.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se relacionan los resultados de los ensayos ejecutados.

10.1. Asentamiento.

Acorde a la norma INVE 404 - 07, se realizó la prueba de asentamiento a cada mezcla, las cuales están registradas en la tabla 14.

Tabla 14. *Asentamiento*

TIPO DE MEZCLA	ASENTAMIENTO (pulg)
Concreto sin adición	3,3
Concreto con adición del 12%	2,7
Concreto con adición del 14%	2,8

Fuente: Autores.

Conforme al procedimiento sugerido por (Guzmán, 2001) dice que para obtener una consistencia media de la mezcla, el asentamiento tiene que estar en el rango de 50-100 mm. Debido a que la compactación de la mezcla es manual en secciones medianamente reforzadas sin vibración y que sirve para obras como pavimentos, losas, etc.

Para el caso analizado se toma 75 mm (3") de asentamiento teórico. (Véase tabla 5).

Tabla 15. Análisis de resultados tomados en el laboratorio

RESISTENCIA DE DISEÑO DE 3000 psi		CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		kg-f/cm²	AREA (cm)	psi	PROMEDIO psi
Sin fibra de acero	14	233,44	81,39	3334,80	3322,26
		232,09	81,86	3315,67	
		232,14	81,85	3316,32	
	21	254,94	82,37	3642,06	3660,43
		257,72	81,48	3681,73	
		256,02	82,02	3657,51	
	28	268,39	81,97	3834,18	3805,17
		268,04	82,08	3829,19	
		262,65	79,95	3752,13	
RESISTENCIA DE DISEÑO DE 3000 psi		CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		kg-f/cm²	AREA (cm)	psi	PROMEDIO psi
12% fibra de acero	14	250,46	79,23	3577,95	3537,09
		233,51	89,93	3335,87	
		258,82	81,14	3697,45	
	21	230,55	93,26	3293,54	3330,96
		231,29	95,12	3304,11	
		237,67	92,57	3395,22	
	28	296,60	79,23	4237,09	4128,42
		279,97	82,15	3999,59	
		290,40	79,20	4148,58	
RESISTENCIA DE DISEÑO DE 3000 psi		CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		kg-f/cm²	AREA (cm)	psi	PROMEDIO psi
14% fibra de acero	14	272,54	80,72	3893,41	3888,13
		272,18	80,83	3888,29	
		271,79	80,95	3882,68	
	21	291,82	82,24	4168,86	4122,22
		290,34	80,94	4147,68	
		283,51	81,13	4050,12	
	28	296,60	81,73	4369,85	4324,90
		279,97	81,95	4270,72	
		290,40	79,11	4334,13	

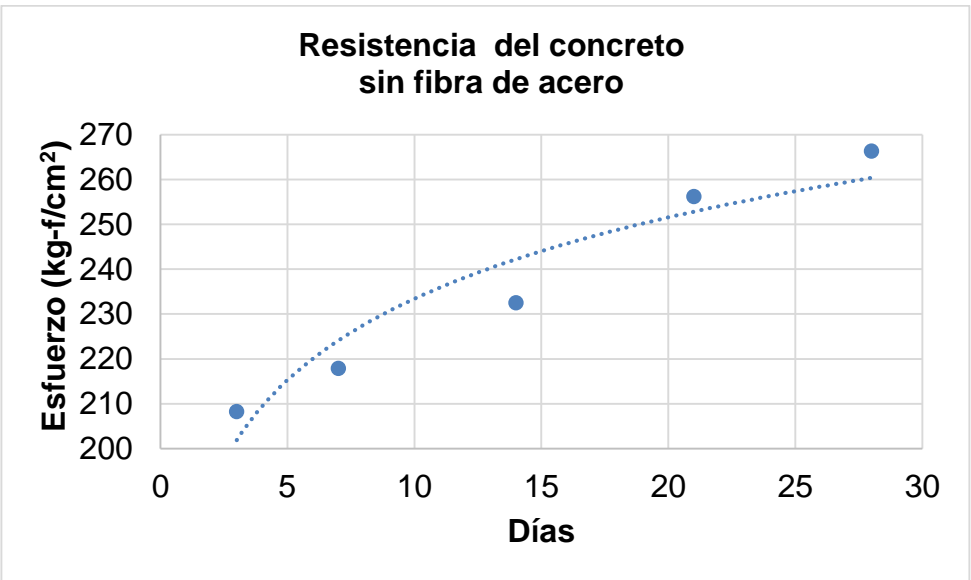
Fuente. Los Autores

Tabla 16. Resistencia sin fibra de acero respecto al tiempo.

Sin fibra de acero	
Días	Esfuerzo (kg-f/cm ²)
3	208,25
7	217,91
14	232,56
21	256,23
28	266,37

Fuente. Los autores

Grafica 1. Resistencia del concreto sin fibra de acero



Fuente. Los autores

En esta gráfica se observa que hay un aumento de resistencia a la compresión de los cilindros. Cuyo incremento fue del 10,74 % en el día 14 respecto al diseño inicial, entro los días 14 y 21 el ascenso fue 12,74%, y del 4,84 % entre los días 21 y 28.

Tabla 17. Resistencia de los cilindros a día 14

Día 14	
sin fibra	232,56
con 12% de fibra	247,60
con 14% de fibra	272,17

Fuente: Los autores

Grafica 2. Resistencia de los cilindros en el día 14



Fuente: Los autores

En esta gráfica se evidencia el buen comportamiento y respuesta de los cilindros al día 14, demostrando que hubo una diferencia de resistencias del 6,47 % entre los cilindros sin adición y los cilindros con 12 % de fibra de acero. También se identifica un incremento a la resistencia del 9,92 % entre los cilindros con 12% de fibra y del 14% de fibra.

Porcentaje de error

R= resistencia a los 28 días

$$f'_c = \text{resistencia de diseño} = \frac{(3000\text{psi} - 3805,17)}{3000} * 100 \% = - 26,839 \%$$

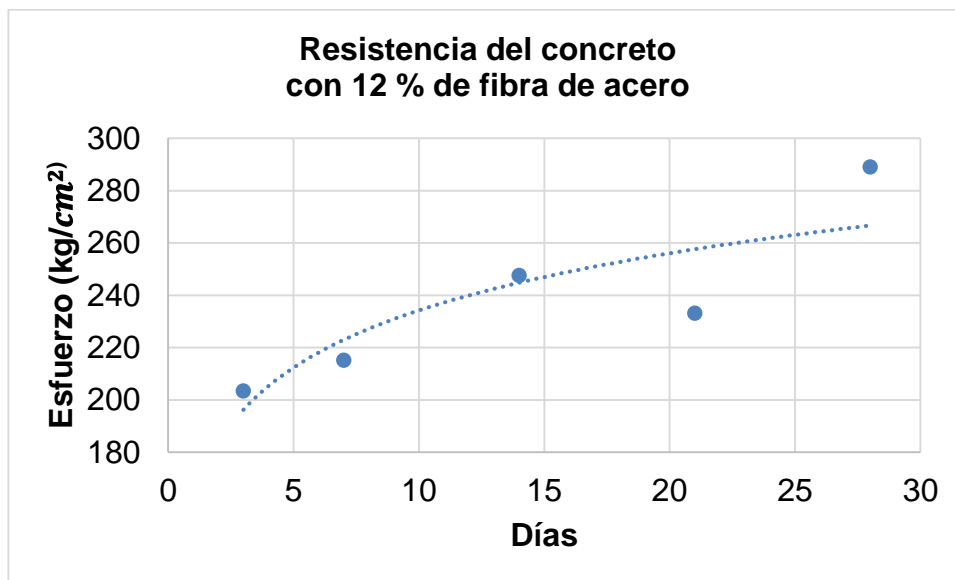
$$\%error = \left(\frac{f'_c - R_{28}}{f'_c} \right) * 100\%$$

Tabla 18. Resistencia con 12% de fibra de acero

12% fibra de acero	
Días	Esfuerzo (kg-f/cm ²)
3	203,36
7	215,19
14	247,60
21	233,18
28	288,99

Fuente: Los autores

Gráfica 3. Resistencia del concreto con 12 % de fibra de acero



Fuente: Los autores

En esta gráfica se observa el aumento que hay a la compresión de los cilindros en el día 14 el cual es del 17,90 % respecto al diseño inicial, también se evidencia un disminución del 5,82 % entre los días 14 y 21, y del 23,94 % entre los días 21 y 28.

Tabla 19. Resistencia de los cilindros en el día 21

Día 21	
sin fibra	256,23
con 12% de fibra	233,18
con 14% de fibra	288,55

Fuente. Los autores

Grafica 4. Resistencia de los cilindros en el día 21



Fuente. Los autores

En esta gráfica se evidencia el comportamiento de los cilindros en el día 21, demostrando que hubo una disminución de la resistencia del 8,96 % entre los cilindros sin adición y los cilindros con 12 % de fibra de acero. A su vez se registra un ascenso a la resistencia del 23,75 % entre los cilindros con 12% de fibra y del 14% de fibra.

Porcentaje de error

R= resistencia a los 28 días

f'_c = resistencia de diseño = 3000 psi

$$\%error = \left(\frac{f'_c - R_{28}}{f'_c} \right) * 100\%$$

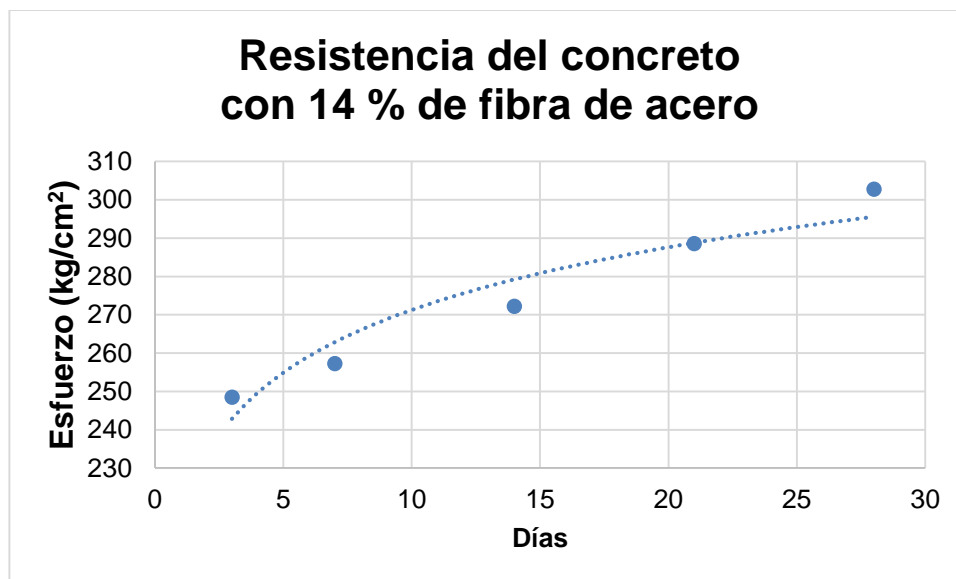
$$\% error = \left(\frac{3000psi - 4128,41}{3000} \right) * 100 \% = -37,614 \%$$

Tabla 20. Resistencia con 14% de fibra de acero

14% fibra de acero	
Días	Esfuerzo (kg/cm ²)
3	248,51
7	257,25
14	272,17
21	288,55
28	302,74

Fuente: Los autores

Grafica 5. Resistencia del concreto con 14 % de fibra de acero



Fuente. Los autores

Se observa gráficamente una mejor respuesta a compresión de los cilindros de concreto con 14 % de fibra de acero al paso de los días, debido a que su aumento el día 14 fue del 29,60 % respecto al diseño inicial, también se evidencia un crecimiento del 6,02 % entro los días 14 y 21, y del 4,92 % entre los días 21 y 28.

Tabla 21. Resistencia de los cilindros a día 28

Día 28	
sin fibra	266,37
con 12% de fibra	288,99
con 14% de fibra	302,74

Fuente. Los autores

Grafica 6. Resistencia de los cilindros en el día 28



Fuente. Los autores

Gráficamente hay un comportamiento óptimo a la resistencia a la compresión de los cilindros, arrojando un aumento del 8,49 % entre los cilindros sin adición y los cilindros con 12 % de fibra de acero. También registra un crecimiento del 4,76 % entre los cilindros con 12% de fibra y del 14% de fibra.

Porcentaje de error

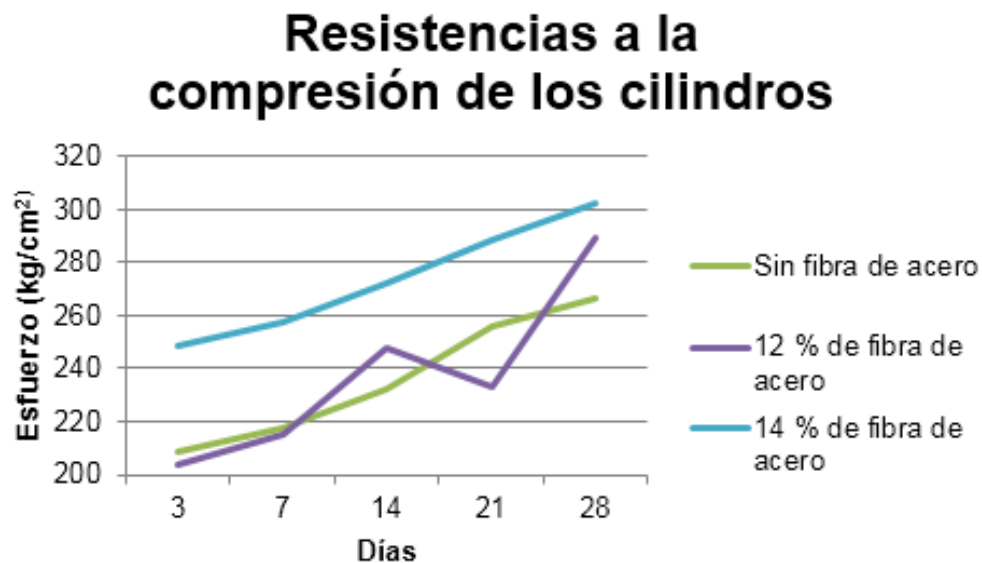
R= resistencia a los 28 días

f'_c = resistencia de diseño = 3000 psi

$$\%error = \left(\frac{f'_c - R_{28}}{f'_c} \right) * 100\%$$

$$\% error = \left(\frac{3000psi - 4324,90}{3000} \right) * 100 \% = -44,163 \%$$

Grafica 7. Resistencia a la compresión de los cilindros



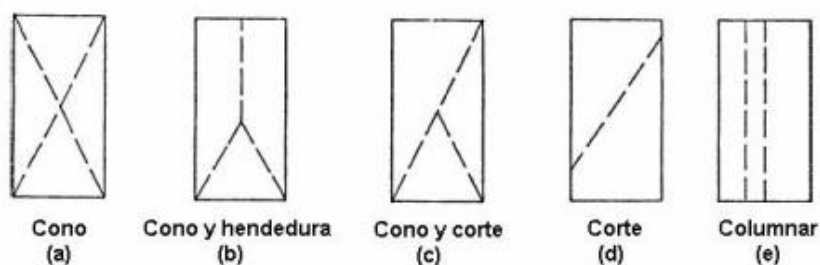
Fuente: Los autores

En la gráfica 7 se observa que el concreto sin adición y el concreto con el 14% de adición de fibra de acero tienen un comportamiento homogéneo en la respuesta de la resistencia a compresión. También se identifica el mal comportamiento del concreto con el 12 % de adición de fibra, esto es debido que el día 21 registra una menor resistencia a la compresión, respecto al día 14 donde su resistencia es mayor. (Véase tabla 15).

10.2. Tipo de falla






Existen 5 tipos de fallas en los cilindros cuando son sometidos a compresión.

Figura 3. Esquema tipos de fallas



Fuente: Norma INVE 410-0

Tabla 22. *Tipos de fallas*

Tipo de mezcla	Resistencia psi	Tipo de falla	Fotografía
Sin fibra de acero	3934,18	Cono y hendedura	
Con 14 % de fibra de acero	4148,58	Corte cilíndrico	
Sin fibra de acero	3681,23	Falla columnar	
Sin fibra de acero	3315,67	Cono y corte	
con 12% de fibra de acero	4369,85	Corte cilíndrico	

Fuente: Los autores

El tipo de falla que más se presentó para un total de 27 cilindros fue el de corte cilíndrico, esta falla se registró en 15 cilindros con un porcentaje del 56%, seguido por la falla de tipo cono y corte, el cual se presentó en 6 muestras arrojando un porcentaje del 22 %, El porcentaje restante que equivale a 3 muestras que fallaron tipo columnar 11%. Los otros tres cilindros presentaron una falla tipo cono y hendedura para sumar así el 100% del total de las muestras falladas.

Después de elaborados los ensayos de laboratorio y hacer lo adecuado para obtener resultados y haberlos obtenidos, se hace un análisis de los datos adquiridos del concreto simple y el reforzado con los porcentajes de fibra.

- En este diseño de mezcla el asentamiento se determinó teniendo como guía la norma INV E 404-07 y cuyo valores fueron 3,3” para el concreto sin adición, 2,7” para el concreto con el 12% de adición y 2,8” para el concreto con 14 % de adición (Véase tabla 14). Ya que el método utilizado para la compactación de los cilindros fue manual, el cual dice que el asentamiento debe estar entre 50 y 100 mm, se escoge 75 mm o (3”) de asentamiento, el cual no está sujeto a cambios debido a que se encuentra en los rangos considerado en la tabla 5.
- Las 3 mezclas analizadas han aumentado al paso de los días la resistencia a la compresión. Según el análisis los aumentos porcentuales fueron:
 - Sin adición de fibra de acero al día 14 una resistencia promedio de 3322,26 psi y su aumento es de 10,74 %, a los 21 una resistencia promedio de 3660,43 psi con un aumento de 22 % y al día 28 una resistencia de 3805,17 psi y un aumento del 26,84 %.
 - Concreto con 12 % de adición de fibra de acero: al día 14 una resistencia promedio de 3537,09 psi y su aumento es de 17,90 %, a los 21 una resistencia promedio de 3330,96 psi con un aumento de 11,03 % y al día 28 una resistencia de 4128,42 psi y un aumento del 37,61 %.
 - Concreto con 14 % de adición de fibra de acero al día 14 una resistencia promedio de 3888,13 psi y su aumento es de 29,60 %, a los 21 una resistencia promedio de 4122,22 psi con un aumento de 37,1 % y al día 28 una resistencia de 4324,90 psi y un aumento del 44,16 %.

Estos valores se pueden revisar en la tabla 15

- En la gráfica 1, 3, y 5 se analiza el comportamiento de los cilindros al paso de los días, este análisis nos muestra el aumento porcentual de los cilindros a la compresión, para estos caso:

Tabla 23. *Aumento de porcentaje de resistencia respecto al tiempo sin adición de fibra de acero*

Sin adición de fibra de acero	
Días	aumento
3 – 7	4,64 %
7 – 14	6,72 %
14 – 21	10,17 %
21 – 28	3,96 %

Fuente: Los autores

Tabla 24. *Aumento de porcentaje de resistencia respecto al tiempo con 12 % de adición de fibra de acero*

12 % adición de fibra de acero	
Días	Aumento
3 – 7	5,82 %
7 – 14	15,06 %
14 – 21	-5,90 %
21 – 28	23,59 %

Fuente: Los autores

- Del día 14 al 21 se identifica una disminución, por eso se representa con el signo negativo.

Tabla 25. *Aumento de porcentaje de resistencia respecto al tiempo con 14 % de adición de fibra de acero*

14 % adición de fibra de acero	
Días	Aumento
3 – 7	3,52 %
7 – 14	5,80 %
14 – 21	6,01 %
21 – 28	4,92 %

Fuente: Los autores

- En las gráficas 2, 4 y 6 se analizan el comportamiento en los tres días en los cuales fueron fallados los cilindros, evidenciando o mostrando gráficamente la diferencia de resistencia que hay para cada tipo de mezcla.
 - Al día 14, la mezcla del 14 % de fibra de acero arrojó una resistencia de 3888,13 psi, mejorando en un 29,60 % la resistencia, la del 12 % da una resistencia a la compresión de 3537,09 psi, aumentando su capacidad a la compresión en un 17,90 % y la mezcla sin adición indica una resistencia a la compresión de 3322,26 psi, la cual mejoro su capacidad en un 10,74 %.
 - Al día 21 el diseño muestra un mejor comportamiento, arrojando para el 14 % de adición de fibra una resistencia a la compresión de 4122,22 psi mejorando en un 31,47 %, la mezcla del 12 % arrojó una capacidad de 3330,96 psi y un aumento de 11,03 % y la mezcla sin adición dio una resistencia a la compresión de 3660,43 psi, la cual tiene una mejora de 22,01 %.
 - Día 28, la mezcla sin adición arroja un valor de 3805,27 psi, mejorando en un 26,84 % su resistencia a la compresión. La mezcla que contiene el 12 % de adición de fibra admitió una resistencia de 4128,42 psi, aumentando la resistencia en 37,61 %, el cilindro con 14 % de adición de fibra emite una resistencia a la compresión de 4324,90 psi, aumentando en un 44,16 % la resistencia a la compresión.

- En la gráfica 7 se analiza los diferentes comportamientos que tiene las mezclas desde el día 3 hasta el día 28. Notificando que la mezcla sin adición tienen un aumento desde el día 3 al 28 de 27,91%, los cilindros con el 12 % de fibra de adición mejoró en un 42,11 % desde el día 3 al 28 y la mezcla del 14 % de adición de fibra de acero arrojó una mejora de 21,81 %, desde el día 3 al día 28.

11.CONCLUSIONES

- ❖ Se comprobó una mejora en la resistencia a la compresión de los cilindros con fibra de acero con respecto a los cilindros sin fibra, notándose que la mezcla con adición del 14 % fue la más alta, obteniendo una resistencia promedio 24500 kg-f o de 4324 psi, superando en un 13,65 % la capacidad de resistencia a la compresión de la mezcla de concreto sin adición.
- ❖ Los resultados encontrados evidencian que la mezcla que brindó mejor comportamiento a los 14 días supero en 30 % por encima de la resistencia del diseño esperado, a los 21 días 38 % por encima y a los 28 días se alcanzó una resistencia superior al 44% de la resistencia esperada.
- ❖ Los cilindros sin adición de fibra tuvieron una falla columnar, falla que no da tiempo a reacción porque se rompe el concreto en instante de segundos al llegar a su máxima resistencia, dejando los cilindros en estado total de daño. A diferencia de los cilindros reforzados con fibra los cuales presentan falla tipo cono y corte y corte cilíndrico que son unas fallas menos letales y que conservan un 80 % la forma del cilindro.
- ❖ Los autores recomiendan perfeccionar este estudio con una investigación más detallada aumentando el número de muestras con los mismos porcentajes y con otros porcentajes, ya que se evidencia un buen comportamiento del concreto con adición de fibra de acero y a la vez realizar ensayos a flexión para identificar la respuesta al módulo de rodura.
- ❖ En términos generales, la fibra de acero genera que el concreto se vuelva ligeramente más resistente, dúctil cuando éste se somete a fuerzas axiales de compresión.
- ❖ La manejabilidad del concreto disminuyó significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto.
- ❖ Se evidencio que la cuantía de acero al 14% produjo fisuras finas y juntas, a diferencia del 12% que produjo fisuras gruesas y separadas que varían entre $0.1 < e < 0.2$ mm de espesor. En general son poco peligrosas salvo en ambientes agresivos en los que pueden favorecer la corrosión.

12. BIBLIOGRAFÍA

Acero, Info. Info Acero. *info Acero.* [En línea] http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm#top.

Bekaert. 2013. Proalco Bekaert. [En línea] 2013. <http://www.bekaert.com/es-MX/productos/construccion/refuerzo-de-hormigon/fibras-de-acero-dramix-3d-para-refuerzo-de-hormigon>.

blog.360gradosenconcreto. 2013. blog.360gradosenconcreto. [En línea] 11 de Octubre de 2013. <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-concreto-reforzado-con-fibras/>.

Cemex. Cemex. *CemexColombia.* [En línea] <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/HistoriaDelCemento.aspx>.

Construmatica. 2014. Construmatica. [En línea] 2014. [Citado el: 17 de Mayo de 2016.] http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams.

Guzmán, Diego Sánchez de. 2001. *Tecnología del concreto y del morteto.* Bogotá : Bhandar editores LTDA, 2001.

Holcim. 2015. holcim.com.mx. *holcim.com.mx.* [En línea] 2015. <http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html>.

Huanca, Samuel Laura. 2006. itacanet.org. *Diseño de mezclas de concreto* . [En línea] 03 de 2006. <http://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>.

Instituto Nacional de Vías norma 402, 07. ftp.unicauca.edu.co. *ftp.unicauca.edu.co.* [En línea] ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-402-07.pdf.

Instituto Nacional de Vías norma 410, 07. ftp.unicauca.edu.co. *ftp.unicauca.edu.co.* [En línea] ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-410-07.pdf.

Lina P. Gallo-Arciniegas, Giovanni González Peñuela y Julián Carrillo León. 2013. SCIELO. [En línea] 23 de Mayo de 2013. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702013000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Lozano, Carlos Elias Sepúlveda. metalactual.com. *Fibra de acero*. [En línea] http://www.metalactual.com/revista/22/materiales_fibra.pdf.

NSR, Norma Sismo Resistente. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. [En línea] 2010. <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>. 138/578.

Roman, Jorge Lopez. 2015. ptolomeo.unam.mx. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*. [En línea] Abril de 2015. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7708/tesis.pdf?sequence=1>.

Salcedo, Heisin Ramos. 2012. Universidad Politécnica de Catalunya . *upcommons.upc.edu*. [En línea] Junio de 2012. http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis_Ramos.pdf?sequence=1.